

# **SIMULAÇÃO DE PLANTA DIDÁTICA**

## **“MODULAR PRODUCTION SYSTEM”**

### **UTILIZANDO O SOFTWARE**

### **PROMODEL**



**Isabelly Pereira da Silva (UFS)**

isabellypereira@outlook.com

**Helber Bittencourt de Jesus Oliveira (UFS)**

helberbittencourt@gmail.com

**Emily Nadine Pereira (UFS)**

emily.nadine18@yahoo.com.br

**robson milet junior (UFS)**

mcmilet@hotmail.com

*A simulação, uma das técnicas de modelagem de processos produtivos, tem se tornado de extrema relevância nas organizações, uma vez que a utilização desta permite a criação de cenários e análise de resultados que auxiliam na tomada de decisão quanto ao aprimoramento de processos. Nesta perspectiva, este trabalho consiste na simulação de um processo produtivo de relógios, este sendo constituído de cinco estações de trabalho (distribuição, separação, classificação, coleta e encaixe, músculo fluído) de uma planta didática desenvolvida pela FESTO. Os dados foram coletados a partir do método da observação das cinco estações da planta didática em execução e estes foram utilizados para a posterior simulação a ser desenvolvida no Software ProModel, visando o estudo e a identificação de características pertinentes ao funcionamento do processo produtivo. Os resultados da*

*simulação evidenciaram um tempo médio de simulação total no sistema por relógio de 76,2 segundos, o que, em consequência, resultou em um alto valor de tempo médio em espera. A seguir, percebeu-se que a velocidade da produção dependia do tempo de operação do operador Rotary Linear Changer, sendo este, portanto, o gargalo do processo produtivo. Assim, foi sugerida como melhoria para o processo a possibilidade de realizar as tarefas do Rotary Linear Changer e do Pick and Place Module em simultaneidade, pois estas atividades quando executadas em conjunto maximizariam a capacidade produtiva do processo.*

*Palavras-chave: Simulação, Promodel, Planta didática.*

## 1. Introdução

A simulação computacional, com o desenvolvimento da informática, tornou-se uma das técnicas mais utilizadas para a análise de problemas em sistemas de manufatura (LEAL *et al.*, 2009). De acordo com Harrel *et al.* (2007) a simulação consiste em uma reprodução de um sistema real, com base em modelos computacionais, para a avaliação do desempenho de determinado sistema. Os simuladores estão relacionados com o real de tal maneira que Lobão e Porto (1999) fazem uma advertência para os modelos da nova geração que deverão conter sistemas para auxiliar no processo de modelagem, pois, uma indevida representação do modelo culminará em resultados totalmente desvirtuados da realidade.

O Promodel é uma ferramenta versátil capaz de realizar a simulação de eventos dos mais diferentes tipos, não obstante, ao aplicá-lo especificamente na área da manufatura, este *software* torna-se uma poderosa ferramenta com programação simplificada (PAULINO, 2015). De acordo com Bateman *et al.* (2013) a modelagem acontece com a denominação dos locais, entidades, atributos, recursos, rotas, processos e chegadas. Após a definição destas variáveis é possível obter dados estatísticos de forma gráfica e detalhada (PAULINO, 2015).

Dito isto, este trabalho objetiva a realização de simulações utilizando o *Software* ProModel de um dos processos da planta didática “*Modular Production System*” da FESTO, com o propósito de obter dados quantitativos de produção relativos ao sistema em análise e de aprofundar o conhecimento didático quanto ao funcionamento da mesma.

## 2. A simulação como ferramenta de análise

A simulação é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão utilizada para testar alternativas em um processo sem a necessidade de mudança no sistema real, sendo também apropriada para a identificação de gargalos, para o estudo sobre um determinado processo ou para a modelagem de novos sistemas antes de sua implementação (OLIVEIRA, 2008; BANKS *et al.*, 2005). De acordo com Kelton *et al.* (2002) o campo da simulação pode ser definido como

uma ampla coleção de métodos e aplicações para imitar o comportamento do sistema real, por meio de um computador com um *software* apropriado.

A aplicação da simulação em meios produtivos e empresariais cresceu principalmente a partir do final da década de 1970, quando os computadores passaram a ser mais rápidos e a apresentar preços mais acessíveis, isto resultou na aceitação e viabilização dessa atividade principalmente entre as empresas de grande porte. No entanto, a simulação só se estabeleceu totalmente na década de 1990, quando passou a ser amplamente adotada por organizações de diversas áreas e diferentes portes, inclusive no meio acadêmico (MELLO *et al.*, 2014; ARAGÃO, 2011). Foi também na década de 1970 que a simulação passou a ser incluída no currículo de campos de estudo como a Engenharia de Produção e a Pesquisa Operacional (KELTON *et al.*, 2007).

Aragão (2011), baseado nos trabalhos de Saliby (1989), Banks *et al.* (1996), Pegden *et al.* (1995), Law e Kelton (2000), destaca como vantagens da simulação computacional, dentre outras:

- a) Processo de modelagem evolutivo: parte-se de um modelo simples e aumenta-se sua complexidade à medida que o modelo se aproxima da realidade;
- b) Perguntas do tipo “e se?”: através do estudo e observação das consequências resultantes de diferentes cenários e possibilidades;
- c) Facilidade de comunicação, visualização e compreensão;
- d) Grande flexibilidade na aplicação dos mais diversos problemas;
- e) Análise e resolução rápidas dos problemas;
- f) Aquisição de visão sistêmica: observação dos efeitos de alterações locais no desempenho global do sistema;
- g) Compreensão e expansão do tempo: Examinar o comportamento do sistema ao longo de meses e até anos em um curto espaço de tempo;
- h) Desenvolvimento de entendimento dos componentes do sistema e seu funcionamento;
- i) Treinamento de equipes.

### ***3. A utilização de plantas didáticas no meio acadêmico***

Plantas didáticas ou plantas piloto são plataformas tecnológicas utilizadas para o aprendizado prático de controle de processos. A utilização dessas plataformas integradas ao ensino dos fundamentos teóricos em sala de aula permite a análise de situações reais encontradas no setor industrial (FONSECA, 2012).

A FESTO, uma das principais fabricantes destes tipos de planta, destaca que seus produtos incentivam o aprendizado rápido e intuitivo através da ilustração prática de sistemas e processos industriais de forma compreensível (FESTO, 2017). Deste modo, as pessoas são capazes de trabalhar na indústria de modo independente e de contribuir para a produtividade das companhias. De acordo com Oliveira *et al.* (2012), as plantas didáticas que trabalham com componentes industriais podem suprir no estudante de engenharia a demanda do mercado por egressos com conhecimento prático aliado à teoria acadêmica. Os autores destacam ainda que esses sistemas estreitam as relações entre os alunos de engenharia e os processos industriais, tornando-os aptos a detectar erros e realizar processos de otimização.

### ***4. Metodologia de pesquisa***

O desenvolvimento deste trabalho se deu através das seguintes etapas: Análise do sistema produtivo, escolha das estações de trabalho a serem simuladas, realização de medições e modelagem do processo das estações escolhidas no *Software ProModel*. A mini fábrica possui nove estações de trabalho, e destas, as estudadas: Estação de Distribuição, Estação de Separação, Estação de Coleta e Encaixe, Estação de Pressionamento e Estação de Classificação.

Segundo Chwif (1999), as três etapas para o desenvolvimento de um modelo de simulação de um sistema são:

- Concepção do modelo: O desenvolvedor deve expressar o sistema a ser simulado e seus objetivos. A partir dessas informações um modelo abstrato de gerado, esse deve

ser transformado em modelo conceitual através de técnicas de representações de modelos;

- Implementação do modelo: o modelo conceitual deve ser transformado em um modelo computacional através de linguagens de simulação ou simuladores comerciais;
- Análise de resultados: após verificação e validação do modelo computacional é possível retornar as informações necessárias para o estudo e análise do sistema.

O primeiro passo para a concepção do modelo foi a análise do sistema em estudo através da observação direta. As estações escolhidas foram colocadas em execução e analisadas sob diferentes perspectivas pelos autores. A partir da observação foram estipulados os dados necessários para a simulação no *software* ProModel e os mesmos foram coletados. Utilizou-se equipamentos como cronômetro digital, régua métrica e câmera fotográfica e de vídeo para a coleta de dados relativos a comprimentos, tempos e velocidades. As medidas foram efetuadas diversas vezes para assegurar uma maior confiabilidade no processo de modelagem e assim o valor médio destas foi considerado.

Para a implementação do modelo, conforme o objetivo deste trabalho, executou-se a modelagem da planta didática no *software* ProModel com base nos dados e informações advindos da etapa anterior. Por fim, simulações foram efetuadas no *software* e assim os resultados obtidos foram analisados e discutidos.

A caracterização do processo produtivo da planta didática MPS está representada na seção 5 deste trabalho. Os principais dados e informações referentes ao processo de implementação do modelo no *software* ProModel podem ser encontrados na seção 6. Já na seção 7 são apresentados e discutidos os resultados da simulação.

### ***5. O processo produtivo da planta didática Modular Production System da FESTO***

A planta didática Sistema Modular de Produção (*Modular Production System*) desenvolvida pela FESTO é composta de nove estações de trabalho, a saber: distribuição, separação, coleta e encaixe, pressionamento, classificação, processamento, robô manipulador, montagem e

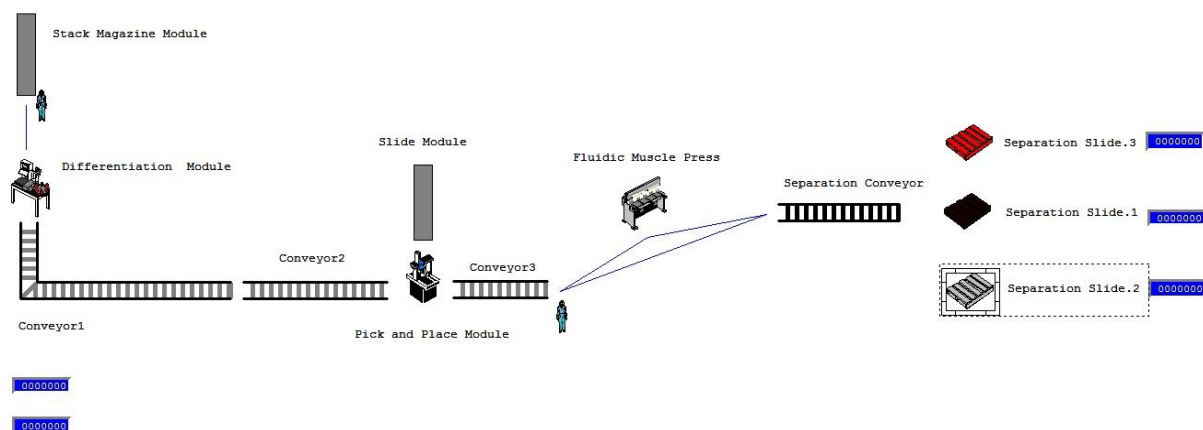
armazenamento. Além disso, divide-se em dois processos que visam reproduzir a sequência de fabricação de determinadas peças (cilindros e relógios, termômetros e higrômetros), a fim de ilustrar ao aluno a importância da automação no meio industrial. Apenas um dos processos foi selecionado para a simulação. Este tem como função o preparo de três espécies de relógios figurativos de fundo raso os quais serão diferenciados em cor e material: vermelho de plástico, preto de plástico e cinza metálico.

A primeira etapa do processo é responsável pelo fornecimento da base do relógio. Por conseguinte, ocorre a diferenciação da peça de acordo com a sua característica, fundo raso ou preenchido (no processo estudado apenas serão utilizadas peças de fundo raso), mediante o uso de sensor, e assim, finaliza-se a segunda etapa. Na fase denominada Coleta e Encaixe (*Pick and Place*), é incrementada à base do relógio o visor de acrílico que contém os ponteiros. Na estação de pressionamento, por intermédio de um sistema nomeado de *Fluidic Muscle* submete-se uma pressão necessária para que ocorra a fixação entre o visor e a base. Por fim, na estação de classificação, sensores possibilitam a separação das peças em três lugares diferentes de acordo com a sua cor e material.

## 6. Modelagem do processo produtivo utilizando o Software Promodel

O processo de fabricação e sorteamento na planta didática Sistema Modular de Produção (*Modular Production System*), desenvolvido pela FESTO, foi modelado no *Software ProModel* buscando-se aproximar a realidade de todas as variáveis que o caracterizam. O *layout* do modelo, onde estão representados os locais de operações e as esteiras ou caminhos que os conectam, pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Modelo de simulação do processo de fabricação e sorteamento da planta didática "*Modular Production System*"



Fonte: Autores

O primeiro local é o *Stack Magazine Module*, ele é representado no modelo por uma fila onde ocorrem as chegadas dos relógios (ainda sem visor e ponteiros). Nesse local, os relógios aguardam para serem transportados até o *Differentiation Module*, responsável pela diferenciação entre relógio de fundo raso ou de fundo preenchido, porém no processo analisado, apenas são processados relógios de fundo raso. A movimentação entre esses dois primeiros locais ocorre através de um mecanismo chamado *Changer*, o mesmo foi caracterizado como um operador, pois, sua única função é transportar o relógio do *Stack Magazine Module* até o *Differentiation Module*, onde a movimentação dura 4,56 segundos. No módulo de diferenciação, o relógio fica retido até que a peça anteriormente lançada seja recebida pelo *Rotary Linear Changer Module*, aqui representado também por um operador, que transporta a peça da terceira esteira (*Conveyor 3*) até o *Fluidic Muscle Press Module* e depois até a esteira de separação (*Separation Conveyor*), ambos representados no layout (Figura 1).

Após o relógio ser liberado pelo local de diferenciação, ele segue até o *Pick and Place Module* através de um sistema de esteiras com uma velocidade de 6,6 metros por segundo. A primeira esteira (*Conveyor 1*) apresenta uma distância de 43,5 centímetros e a segunda (*Conveyor2*), 19 centímetros. Novamente, o relógio é retido ao fim da *Conveyor1* até que o *Rotary Linear Changer Module* termine sua operação de movimentação e volte à posição de repouso. Ao chegar no *Pick and Place Module*, ocorre a sobreposição do visor (chamado no



modelo de *Indicator*) no relógio, os visores chegam através de uma fila com capacidade para 5 visores e a operação completa de retirar o visor da fila e colocar sobre o relógio dura 9,26 segundos. Após o *Pick and Place Module*, o relógio é movido através da esteira 3 (*Conveyor 3*) que possui 15 centímetros e depois é transportado pelo *Rotary Linear Changer* durante 4,60 segundos até o *Fluidic Muscle Press Module*, onde o encaixe do visor é reforçado, numa operação que dura 1,08 segundos. Ainda transportado pelo *Rotary Linear Changer*, o objeto é levado até a esteira de separação (*Separation Conveyor*), o transporte dura 4,72 segundos, e após a movimentação, o operador (*Rotary Linear Changer*) é liberado para voltar à posição de espera, o retorno dura 4,01 segundos.



Uma vez na esteira de separação, a cor e/ou material de fabricação do relógio é identificado por um sensor enquanto o mesmo é transportado. Na situação real, o relógio é desviado da esteira para ser estocado em locais de acordo com a sua cor ou material, esse desvio ocorre em medidas de comprimento diferentes da mesma esteira, utilizando-se um sistema de bloqueios mecânicos. Devido a limitações do *software*, não foi possível fazer essa diferenciação de distâncias, por isso, um comprimento médio para a esteira de 18 centímetros foi utilizado, sendo essa a única diferença significativa entre o processo real e o simulado. Por fim, os relógios são estocados de acordo com sua cor ou material em locais aqui chamados de *Separation Slide.1*, *Separation Slide.2* e *Separation Slide 3*. Mais informações referentes à modelagem do processo e aos “operadores” podem ser encontradas nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Modelagem das relações de processamento da planta didática “*Modular Production System*”

Entity...	Location...	Operation...
Black_Watch	Stack_Magazine_Module	
Black_Watch	Differentiation_Module	WAIT UNTIL Var1 = 0
Black_Watch	Conveyor1	
Indicator	Slide_Module	
Black_Watch	Pick_and_Place_Module	WAIT 9.26 SEC JOIN 1 Indicator
Black_Watch	Conveyor3	
Black_Watch	Fluidic_Muscle_Press	WAIT 1.08 SEC
Black_Watch	Separation_Conveyor	
Black_Watch	Separation_Slide.1	INC Var2, 1
Black_Watch	Conveyor2	
Red_Watch	Stack_Magazine_Module	
Red_Watch	Differentiation_Module	WAIT UNTIL Var1 = 0
Red_Watch	Conveyor1	
Red_Watch	Conveyor2	
Red_Watch	Pick_and_Place_Module	WAIT 9.26 SEC JOIN 1 Indicator
Red_Watch	Conveyor3	
Red_Watch	Fluidic_Muscle_Press	WAIT 1.08 SEC
Red_Watch	Separation_Conveyor	
Red_Watch	Separation_Slide.3	INC Var4, 1
Metallic_Watch	Stack_Magazine_Module	
Metallic_Watch	Differentiation_Module	WAIT UNTIL Var1 = 0
Metallic_Watch	Conveyor1	
Metallic_Watch	Conveyor2	
Metallic_Watch	Pick_and_Place_Module	WAIT 9.26 SEC JOIN 1 Indicator
Metallic_Watch	Conveyor3	
Metallic_Watch	Fluidic_Muscle_Press	WAIT 1.08 SEC
Metallic_Watch	Separation_Conveyor	
Metallic_Watch	Separation_Slide.2	INC Var5, 1

Fonte: Autores

Figura 3 - Operadores do modelo representando os mecanismos de transporte “Changer” e “Rotary Linear Changer”

Icon	Name	Units	DTs...	Stats	Specs...	Search...	Logic...	Pts...
	Changer	1	None	By Unit, Time SeriNet1, N1, Rtn Home	None	None	0	1
	Rotary_Linear_Changer	1	None	By Unit, Time SeriNet2, N1, Rtn Home	None	None	1	1

Fonte: Autores

A ferramenta de criação de variáveis do ProModel, aliada às funções “INC”, “DEC” e “WAIT UNTIL”, permitiu representar o papel dos sensores quanto à liberação ou não da peça em determinados locais, quando há uma relação de dependência com eventos em outros locais ou operadores. As entidades definidas foram “Red Watch”, “Black Watch”, “Metallic Watch” e “Indicator”. As chegadas no sistema real são ditadas pelo responsável por controlar a mini fábrica, em geral, as entidades estão sempre disponíveis quando preciso. No modelo, otimizou-se os comandos de chegadas a partir da observação dos tempos de operação,

objetivando-se que as entidades estivessem sempre disponíveis, mas sem afetar drasticamente o tempo médio no sistema dos produtos.

### 7. Análise e discussão dos resultados da simulação

Foram realizadas simulações para um tempo de operação de produção de 1 hora. Os principais resultados quantitativos são apresentados no Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da simulação da planta didática "*Modular Production System*" no ProModel por 1 hora

Item	Valor
Número de relógios produzidos	144 unidades
Tempo médio em operação dos relógios	15,40 segundos
Tempo médio total dos relógios no sistema	76,2 segundos
Tempo médio dos relógios em espera ou movimentação	60,8 segundos

Fonte: Autores

O número total de relógios produzidos em uma hora foi de 144 relógios. Em simulações com tempos de operação de produção de 3 e 6 horas resultaram na produção de 432 e 866 relógios, respectivamente. Logo, estima-se que a capacidade de produção real do sistema se situe numa faixa entre 140 a 150 relógios por hora.

Baseando-se numa capacidade produtiva de 144 relógios por hora, é possível calcular que a fila de visores, a qual possui capacidade para 5 peças, deverá ser reabastecida 29 vezes pelo controlador durante uma hora de operação. O tempo médio em operação do sistema por relógio foi de 15,4 segundos, enquanto que o tempo médio total no sistema por relógio foi de 76,2 segundos, isso resulta em um tempo médio de espera e movimentação por relógio de 60,8 segundos.

Acredita-se que o alto tempo em espera e movimentação resulta de duas principais características do sistema. Primeiramente, a mini fábrica é desenvolvida para estudos acadêmicos, onde a visualização das operações é mais significativa que sua produtividade. De fato, é interessante observar e estudar os mecanismos de movimentação e sensoriais altamente

automatizados da planta, no entanto, em termos produtivos, a movimentação entre estações de trabalho é uma atividade que não agrega valor ao produto final.

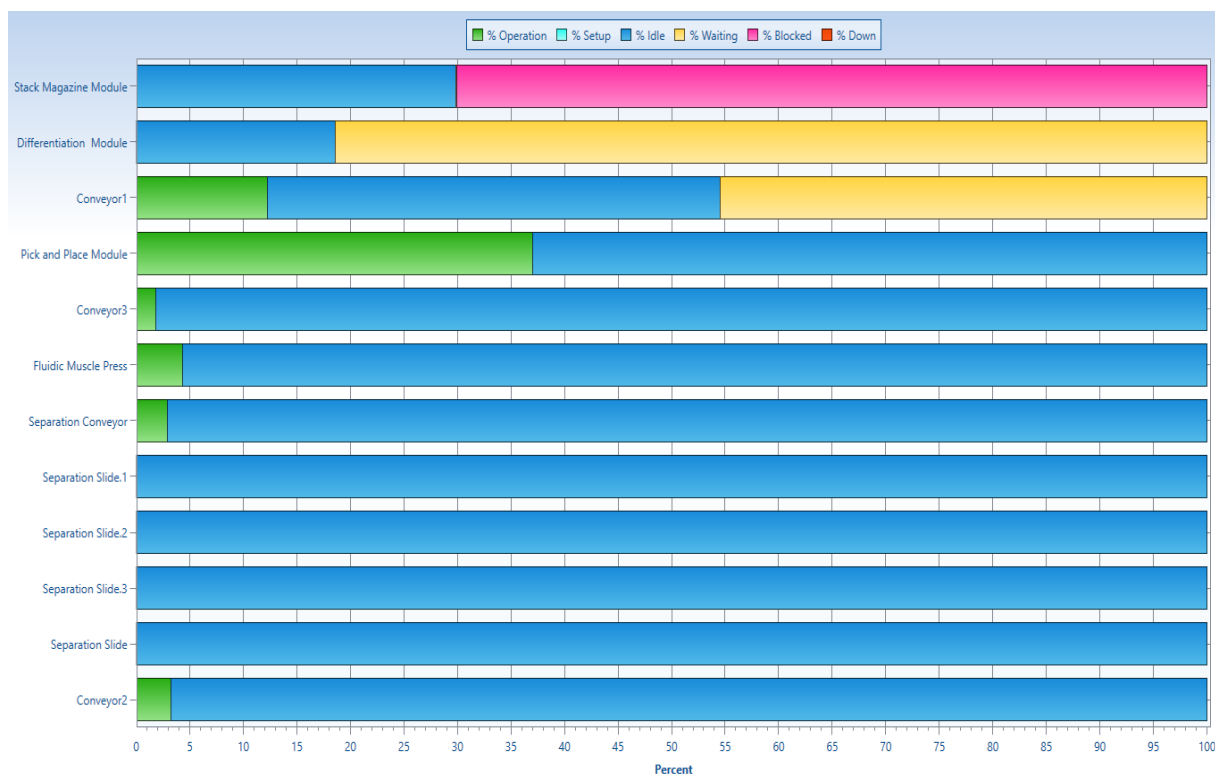
Segundo, a velocidade de produção é restringida principalmente pelo tempo de operação do operador *Rotary Linear Changer* e pela configuração dos comandos automatizados da planta. É válido lembrar que os relógios são retidos ao fim da esteira 1, pois, a peça só pode ser liberada quando esse operador termina toda a sua trajetória e retorna à posição de retorno. Isto impede, por exemplo, que as tarefas do *Rotary Linear Changer* e do *Pick and Place Module* sejam realizadas ao mesmo tempo, estas duas etapas são justamente as que mais demandam tempo no sistema produtivo. Essa configuração é cabível para meios acadêmicos, contudo, a possibilidade de realizar essas duas tarefas simultaneamente permitiria uma maior capacidade produtiva para a planta, uma vez que haveria a flexibilização do fluxo do processo enquanto que as demais estações não teriam suas atividades comprometidas devido ao alto tempo em espera proveniente do operador *Rotary Linear Changer*. É possível observar essa característica a partir dos gráficos apresentados nas Figuras 4 e 5, cuja legenda de cores está de acordo com da Tabela 2.

Figura 4 - Gráfico que apresenta os percentuais de utilização dos operadores durante a simulação da planta didática



Fonte: Autores

Figura 5 - Gráfico que apresenta os percentuais de utilização das estações ou locais durante a simulação da planta didática



Fonte: Autores

Tabela 2 - Legenda dos percentuais de utilização de operadores e estações no ProModel

Legenda do Promodel	Descrição
<b>Operadores</b>	
% <i>in use</i>	Operador realizando operação
% <i>travel to use</i>	Operador em movimento para iniciar a operação
% <i>travel to park</i>	Operador em movimento para a posição inicial
% <i>idle</i>	Operador ocioso
% <i>down</i>	Operador desligado
<b>Estações</b>	
% <i>operation</i>	Estação em operação
% <i>waiting</i>	Estação com peça(s) em espera
% <i>setup</i>	Estação em <i>setup</i>
% <i>idle</i>	Estação ociosa
% <i>blocked</i>	Estação bloqueada

■ % down

Estação desligada

Fonte: Autores

Nota-se que o *Rotary Linear Changer* e o *Pick and Place Module* são as duas estações com maiores porcentagens de tempo em uso, aproximadamente 42% e 37% respectivamente. No entanto, os dois apresentam também altas porcentagens de tempo em que estão desocupados, esses dados explicitam a relação de dependência entre os dois, pois, um não opera enquanto o outro está em operação. Essa relação também é refletida nas outras estações, as quais apresentam altas porcentagens de tempo livre, excetuando-se justamente os locais em que as peças ficam retidas enquanto aguardam liberação. São esses locais: a esteira *Conveyor 1*, a qual apresenta 45% do seu tempo total de simulação com peças em espera; e o *Differentiation Module*, cuja porcentagem é ainda maior, representando 81%.

## 8. Considerações Finais

Este trabalho foi caracterizado pelo desenvolvimento de um processo produtivo no *Software Promodel* tomando como referência a planta didática MPS desenvolvida pela FESTO. Dentre as nove estações de trabalho encontradas na planta didática, focou-se em cinco estações que compõem a linha de produção de relógios para serem simuladas. Fazendo-se uso do método da observação, os dados foram coletados para posteriormente serem inseridos no *Software Promodel*, representando de forma mais fidedigna o funcionamento do processo produtivo.

Tratando-se dos resultados, observou-se que em uma hora de funcionamento, o relatório de simulação demonstrou uma capacidade produtiva média de 144 relógios por hora no processo estudado. O tempo médio total no sistema por relógio foi de 76,2 segundos que, por sua vez, ocasionou um tempo médio de espera e movimentação de 60,8 segundos por relógio.

Este alto valor de tempo médio em espera explicitou duas limitações do processo. A primeira está na finalidade da planta didática, pois esta é desenvolvida única e exclusivamente para a visualização das operações, ou seja, é utilizada como recurso alternativo as técnicas de ensino e aprendizagem em meio acadêmico. Portanto, a produtividade não é foco principal da planta didática. A segunda limitação percebida diz respeito ao processo. Percebeu-se que a

velocidade da produção é dependente do tempo de operação do operador *Rotary Linear Changer* em conjunto a configuração dos comandos automatizados da planta. Sugeriu-se então, para melhoria do processo, a possibilidade de realizar as tarefas do *Rotary Linear Changer* e do *Pick and Place Module* em simultaneidade, resultando em uma maior capacidade produtiva. Esta ação facilitaria o fluxo do processo e as demais estações não teriam suas atividades comprometidas devido ao alto tempo em espera proveniente do operador *Rotary Linear Changer*.

Considerando os aspectos anteriormente mencionados, conclui-se que a utilização da planta didática "*MODULAR PRODUCTION SYSTEM*" em conjunto ao *software* Promodel maximiza o poder de análise e compreensão dos processos produtivos a serem estudados, podendo assim, serem utilizados como ferramentas de apoio as técnicas de aprendizagem em meio acadêmico.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, A. P. **Modelagem e simulação computacional de processos produtivos: o caso da cerâmica vermelha de campos dos Goytacazes, RJ**. Projeto apresentado como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2011.

BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L. **Discrete-event system simulation**. 2. ed., New Jersey: Prentice Hall., 1996.

BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L.; NICOL, D.M. **Discrete - Event System Simulation**. 4ª ed., Upper Saddle River, Prentice Hall, 2005.

BATEMAN, Robert E.; BOWDEN, Royce O.; GOGG, Thomas J.; HARREL, Charles R.; MOTT, Jack R. A.; MONTEVECHI, José A. B. **Simulação de sistemas: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. Rio de Janeiro, 2013.

CHWIF, L. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, POLI-USP, 1999.

FESTO Didactic: <<http://www.festo-didactic.com/br-pt/quem-somos/festo-didactic/?fbid=YnIucHQNTM3LjIzLjEwLjY3OTAuNDE0MQ>> Acesso em 13 de Fevereiro de 2017.

FONSECA, D. G. V. **Modelagem e controle adaptativo de uma planta didática de nível com instrumentação industrial**. Defesa de Mestrado apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Computação PPgEEC da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2012.



- HARREL, C.; GHOSHI, B.K.; BOWDEN, R. *Simulation Using Promodel*; 3 ed., Boston, 603 p., 2000.
- KELTON, D. W.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with Arena**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- LAW, A.M. & KELTON, W.D. **Simulation Modeling and Analysis**. 3. ed., New York: McGraw-Hill, 2000.
- LEAL, F.; OLIVEIRA, M.; ALMEIDA, D.; MONTEVECHI, J.; **Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM**; XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção; Salvador; 2009.
- LOBÃO, E.; PORTO, E. **Evolução da Técnicas de Simulação**. EESC-USP, vol. 9 no 1, São Paulo, 1999.
- MELLO, M. S.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. C. Análise do impacto das paradas de máquina em uma empresa farmacêutica por meio da simulação. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Florianópolis, SC, Brazil, v. 6, n.12, p. 48-72, 2014.
- OLIVEIRA, C. S. Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. **Estudos Tecnológicos**, vol. 4, n. 3, p. 204-217, 2008.
- OLIVEIRA, L. M.; TEIXEIRA, D. P.; OLIVEIRA, A. R.; CARMO, M. J.; JUNIOR, L. O. A. **Utilização de uma planta didática SMAR para complementação do ensino em engenharia de controle e automação**. XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE, Belém – PA, 2012.
- PEDGEN, C. D.; SHANNON, R.E. & SADOWSKI, R.P. **Introduction to Simulation Using SIMAN**. 2. ed., New York: McGraw-Hill, 1995.
- PAULINO, E.; RIBEIRO, L.; TEIXEIRA R.; LUCINO, E.; CARDOSO, R.; Simulação de estoque de segurança utilizado o software promodel. **Revista Científica da FAEX**, ed. 07, ano 04, s. 1, 2015.
- SALIBY, E. **Repensando a simulação: a amostragem descritiva**. São Paulo: Atlas, 1989.